

ارزیابی اثر خصوصیات ساخت و بافت واحدهای سنگی توده نفوذی الوند بر مقاومت رخنمون‌ها در برابر تخریب و هوازگی

حسین بختیاری^۱، دکتر ابراهیم مقیمی^۲، دکتر محمد رضا ثروتی^۳

۱ - دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاداسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲ - استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

۳ - استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

چکیده

توده نفوذی الوند یکی از بزرگترین توده‌های نفوذی در کمربند دگرگونی سنندج - سیرجان است. این مقاله با استفاده از روش ارزش عددی مقاومت نسبی رخنمون واحد‌های سنگی توده نفوذی الوند را براساس خصوصیات ساخت و بافت سنگ بکر در برابر تخریب و هوازگی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. بدین منظور ابتدا برخی از خصوصیات ساخت و بافت واحد‌های سنگی به عنوان معیار انتخاب و شاخص سازی شدند. سپس مقاومت نسبی رخنمون واحد‌های سنگی بر مبنای ارزش عددی ۱-۱۰ ارزیابی، و نقشه پهنه بندی مربوطه ارائه شده است. بر این اساس گرانیث پگماتیته با ۳,۷۵ کمترین و آلیوین گابروها با ۵,۵۷ بیشترین درجه مقاومت را دارند میانگین وزنی مقاومت سطح توده ۵,۱ تعیین شده. که نشان دهنده درجه مقاومت متوسط رخنمون‌ها در برابر تخریب و هوازگی از نظر خصوصیات ساخت و بافت در بین سنگ‌های آذرین درونی است.

کلید واژه‌ها: توده نفوذی الوند، تخریب و هوازگی، ساخت و بافت، مقاومت نسبی، روش ارزش عددی.

مقدمه:

اساس ژئومورفولوژی را بررسی تغییر شکل ناهمواریهای پوسته زمین و چگونگی شکل بندی روی آنها تشکیل می‌دهد. مواد، عوامل و زمان در این شکل بندی سه محور عمده محسوب می‌شوند؛ در چگونگی تأثیر عوامل در مواد سازنده ناهمواری‌ها در بعد زمانی ماهیت و ویژگی‌های سنگ نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند (رجائی، ۱۳۷۱ ص ۲۱). ویژگی‌های ذاتی مواد تشکیل دهنده سنگ‌ها، شامل ترکیب کانی شناسی و بافت است که مستقل از محیط، عامل ایجاد مقاومت درونی ماده در برابر انفصال ذرات، تخریب و خاک سازی هستند (شریعت جعفری و همکاران، ۱۳۸۵ ص ۷۱۲). بنابراین تشخیص ویژگی‌های مواد سنگی و نقش آنها در تحلیل عوامل مورفوژنیک، مرکز ثقل

ژئومورفولوژی دینامیک پیشرفته را تشکیل می دهند (رجائی، ۱۳۷۰ ص ۶۷)؛ درین و دوسار^۱ (۲۰۰۴). معتقدند مطالعات سنگ نگاری نه تنها اطلاعاتی در مورد ترکیب کانی شناسی و منشأ سنگ به دست می دهد، بلکه در ارزیابی دوام سنگها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی نیز ابزاری مهم به شمار می آید (نیکودل و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۴). از سوی دیگر تغییر عوامل محیطی مانند آب و هوا، لرزه خیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوضه های آب خیز کوچک عموماً کم و ثابت است و این در صورتی است که خصوصیات سنگ شناسی، می تواند حتی در حوضه های کوچک نیز متغیر باشد (فیض نیا، ۱۳۷۴ ص ۷۱۰). و در شریط محیطی یکسان تفاوت در ترکیب کانی شناسی سنگها ممکن است سبب پاسخ متفاوت به فرآیندهای هوازدگی شود (آلوم، ۲۰۱۰، ص ۱۰). همچنین عوامل محیطی و ثانویه، مانند آب و هوا بیش از آنکه نقش کلیدی در تولید رسوب داشته باشند، در تعیین نوع ویژگی های رسوبات ناشی از هوازدگی و فرسایش مؤثرند (شریعت جعفری و غیومیان، ۱۳۸۵ ص ۷۰۹)؛ که با تعیین نوع فرآیند هوازدگی (فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی) سبب می شوند از یک سنگ با ویژگی های ذاتی معین در اقلیم های گوناگون، حجم و نوع محصول متفاوت حاصل شود. در این مقاله با توجه به اهمیت ویژگی های سنگ شناسی در بررسی های ژئومورفولوژی پیشرفته و اهمیت مضاعف آن در حوضه های کوچک مقاومت نسبی واحد های سنگی توده نفوذی الوند در مقابل تخریب و فرسایش بر اساس ساخت و بافت مورد بررسی قرار گرفته است. طبقه بندی سنگهای آذرین را می توان بر اساس ملاکهای زیادی همچون بافت، اندازه بلور یا دانه، رنگ، کانی شناسی، ترکیب شیمیایی، نحوه تشکیل و منشأ انجام داد. (ویلسون، ۲۰۱۰، ص ۷۷). و تاکنون روش های مختلفی برای طبقه بندی سنگها با مقاصد مختلف ارائه شده است. و برخی از این طبقه بندی های مرتبط با بررسی های ژئومورفولوژی می باشند. سلبی^۲ (۱۹۸۰) طبقه بندی ژئومورفولوژی و درجه بندی مقاومت توده سنگ^۳ را ارائه داده است در این طبقه بندی علاوه بر مقاومت سنگ بکر^۴، ویژگی های هوازدگی و ناپیوستگی ها نیز به صورت جداگانه بررسی و مورد توجه قرار گرفته اند (سلبی، ۱۹۸۵، ص ۱۸۱). لیندسی^۵ و همکاران (۱۹۸۲)، رابطه بین خصوصیات سنگها و مقاومت در برابر هوازدگی را با توجه به ترکیب کانی شناسی، بافت، تخلخل و خصوصیات کلی (شامل: میزان جذب آب، مقاومت کششی، مقاومت به هوازدگی بخشی، تازه بودن سنگ و سختی و نرمی) همراه با رده بندی سنگهای شاخص در برابر هوازدگی ارائه کرده اند. که این طبقه بندی توسط چورلی و همکاران (۱۹۸۵) (چورلی و همکاران ۱۳۷۹، ص ۳۱)؛ و کوک و دورکمپ^۶ ۱۹۹۳ (کوک و دورکمپ ۱۳۷۸، ص ۲۲۷)؛ نیز ارائه شده است. در این طبقه بندی سنگهای آذرین مقاوم و شاخص در برابر هوازدگی فیزیکی عبارتند از: گرانیت های ریز بلور، بعضی گرانیت های درشت بلور، ریولیت و گرانیت گنیسی، و سنگهای نامقاوم در این رابطه گرانیت دانه درشت می باشد. همچنین در برابر هوازدگی شیمیایی سنگهای گوناگون آذرین اسیدی، سنگهای کریستالیزه (متبلور)، ریولیت، گرانیت و گنیس گرانیتی به عنوان شاخص سنگهای مقاوم آذرین و سنگهای بازیگ به عنوان سنگهای نامقاوم دسته بندی

1 - Dreesen and Duser 2004

2 - Selby

3 - Mass Rock

4 - Intact Rack

5 - lindsey

6 - Cook & Doornkamp

شده‌اند. در سال ۱۳۷۴ طبقه بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش ازسوی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ارائه شده است. که در تبیین این روش از مجموعه داده‌های تجربی ارائه شده در طبقه بندی‌های مهندسی سنگ مانند دیر و میلر^۱ (۱۹۶۶)، فرانکلین و برش^۲ (۱۹۷۲)، آنون^۳ (۱۹۷۷) و سلبی (۱۹۸۰) نیز استفاده شده است داده‌های ارائه شده در این طبقه بندی‌ها چون بر مبنای اندازه گیری های آزمایشگاهی پژوهندگان معتبر جهانی است، در حال حاضر نیز در دنیا از مراجع معتبر و پذیرفته شده است (شریعت جعفری و همکاران، ۱۳۸۵ ص ۷۱۱). در این طبقه بندی واحدهای سنگی و خاک به ده رده مقاومتی I-X با عناوین توصیفی از رده فوق العاده مقاوم با فرسایش پذیری (I) تا کاملاً سست و منفصل با فرسایش پذیری (X) با ذکر سنگ‌های شاخص برای هر رده ارائه شده است. که در این رده بندی سنگ‌های آذرین درونی در سه رده بالای مقاومتی قرار می‌گیرند. فیض نیا و سادات (۱۳۷۴)، مقاوت سنگ‌ها در برابر فرسایش در اقلیم مختلف ایران، را ارائه کردند؛ و فیض نیا و زارع (۱۳۸۲)، از طبقه بندی سلبی به منظور بررسی حساسیت سازندهای زمین شناسی نسبت به فرسایش در حوزه آبخیز سد لتیان استفاده نموده‌اند. شریعت جعفری و غیومیان (۱۳۸۴)، طبقه بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش (ایران مرکزی- حوزه کویرهای درانجیر و ساغند) را ارائه داده‌اند. و در سال ۱۳۸۵، طبقه بندی حساسیت به فرسایش واحدهای سنگ و خاک بر مبنای ویژگی‌های ذاتی مواد شامل ترکیب کانی شناسی و بافت را در حوضه‌های واقع در پهنه رسوبی - ساختاری خرده قاره ایران مرکزی تدوین کرده اند. احمدی (۱۳۶۸)، مقیمی و محمودی (۱۳۸۳)، مقیمی (۱۳۸۹) و محمودی (۱۳۹۰)، ضمن تقسیم سنگ‌ها به دو گروه سخت و سست از نظر مقاومت در برابر هوازدگی و فرسایش، معیارها و ویژگی‌های را که باید در تقسیم بندی فرعی ژئومورفولوژی سنگ‌ها در نظر گرفته شوند با ذکر مثال توضیح داده‌اند ولی طبقه بندی کمی و یا نسبی با لحاظ کردن معیارها و ویژگی‌های ارائه شده از سوی آنها صورت نگرفته است.

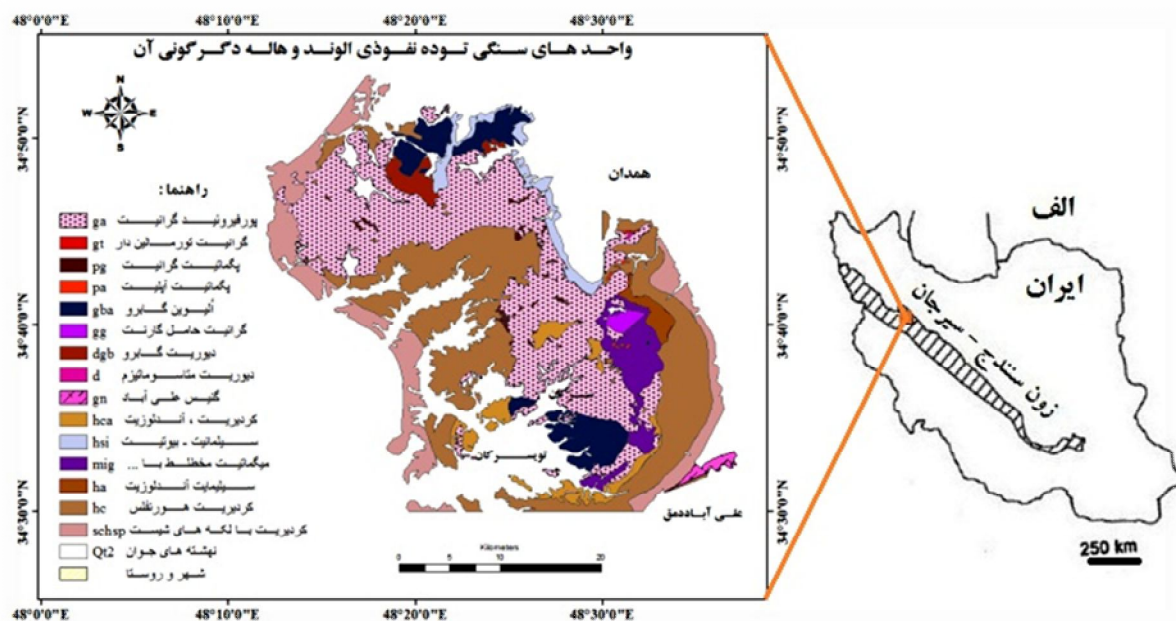
مواد و روش

توده نفوذی الوند یکی از بزرگترین توده‌های نفوذی در کمربند دگرگونی سنندج - سیرجان است (سپاهی، ۲۰۰۸، ص ۲۹۵). برونزد این توده با وسعتی در حدود ۳۶۲/۹۲ کیلومترمربع (بدون در نظر گرفتن نهشته‌های کواترنری) به طول ۴۰ کیلومتر در امتداد ۱۳۵ درجه، در مختصات: $48^{\circ}12'$ تا $48^{\circ}38'$ طول شرقی و $34^{\circ}30'$ تا $34^{\circ}52'$ عرض شمالی در استان همدان قرار دارد (شکل، ۱). این توده نفوذی از دیدگاه زمین شناختی ساختاری (اشتوکلین، ۱۹۶۸ و نبوی، ۱۳۵۵)، تماماً در بخش شمال غربی زون سنندج - سیرجان واقع است (جداری عبوسی، ۱۳۷۴، ۳۴ و ۳۹)، و از نظر توپوگرافی بخشی از پیش کوههای داخلی زاگرس محسوب می‌شود (علایی طالقانی، ۲۳۵، ۱۳۹۰)، بلندترین قله آن (قله یخچال) از نوع گرانیت پورفیروئید بیوتیت و گرونا دار است (زرعیان و همکاران، ۱۳۵۱)، که با ۳۵۸۴ متر ارتفاع در مختصات $48^{\circ}29'12''$ طول شرقی و $34^{\circ}39'51''$ عرض شمالی قرار دارد. پلوتونیسم الوند از کرتاسه میانی شروع شده و تا اوایل ترشیری (پالئوسن) ادامه داشته است (سپاهی گرو و معین وزیری، ۱۳۷۹) (شکل ۱).

1 - Deer&Miller

2 - Franklin&Broch

3 - Anon



شکل ۱ الف- موقعیت توده نفوذی الوند در زون سنندج - سیرجان، ب- واحد های سنگی توده نفوذی الوند و هاله دگرگونی آن (منبع نقشه های چاپی زمین شناس ۱:۱۰۰۰۰۰ تویسرکان و همدان رقومی شده توسط نگارندگان)

در این تحقیق به منظور دست یابی به شاخص کمی جهت تعیین مقاومت نسبی رخنمون واحدهای سنگی توده نفوذی الوند در برابر تخریب و هوازدگی بر اساس خصوصیات ساخت و بافت سنگ، ابتدا با بهره گیری از نقشه های منطقه، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای پراکندگی واحدهای سنگی مشخص و به منظور تحلیل مکانی به محیط Arc GIS منتقل شده (شکل ۱). در مرحله بعد برخی از پارامترهای فیزیکی ساخت و بافت سنگ بکر که از دید ژئومورفولوژی در سختی یا سستی رخنمون سنگ های پلوتونیک نقش موثرتری دارند به عنوان معیار جهت ارزیابی انتخاب، و با توجه به اینکه هر یک از معیار ها دارای شاخص های متفاوت و پیوسته ای جهت توصیف بوده و تأثیر متفاوتی در مقاومت رخنمون ها دارند (مثلاً رنگ سنگ می تواند تیره، روشن و یا خاکستری باشد) برای هر معیار سه شاخص با ارزش عددی ۱ تا ۳ تعریف شده است (جدول ۲) و ارزیابی مقاومت رخنمون واحدهای سنگی با لحاظ کردن ارزش عددی شاخص ها برای هر معیار صورت گرفته است (جدول ۴). با توجه به اینکه جمع شاخص ها بین حداقل ۹ و حداکثر ۲۷ به دست می آید با استفاده از معادله خطی دامنه تغییرات به بازه ۱-۱۰ تبدیل و به عنوان درجه مقاومت از نظر خصوصیات ساخت و بافت سنگ در تحلیل و طبقه بندی رخنمون واحدهای سنگی توده نفوذی الوند مورد استفاده قرار گرفته است.

تحلیل داده‌ها

خواص بافتی سنگ‌ها به طور عمده شامل اندازه دانه، شکل دانه، درجه درهم شدگی، رابطه نسبی بین دانه‌ها، تراکم سنگ، ضریب بافت، کانی‌های محتوی، مواد خمیره^۱ و نوع آن، نوع سیمان و درجه سیمان شدگی، تخلخل، رابطه بین مرز یا همبری^۲ دانه‌ها و ساختار پیوندی بین آنهاست (لیندکوئیست و کسن^۳ ۲۰۰۵، ص ۵)، که جهت بررسی مقاومت سنگ‌ها باید صفحات ضعیف، شکستگی‌های داخل سنگ و درجه آلتراسیون کانی‌ها را نیز به آن افزود (امانیان و همکاران، ۱۳۸۴، ص ۶۷). این ویژگی‌ها که عموماً تابع ترکیب کانی شناسی و بافت است عمده عوامل مؤثر و تعیین کننده در پتانسیل هوازدگی و فرسایش پذیری سازندها می‌باشند (شریعت جعفری، ۱۳۸۴). در جدول ۱، طبقه بندی خصوصیات سنگ‌ها ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه بندی خصوصیات سنگ‌ها توسط اروسی و والر^۴ ۱۹۹۵ (امانیان و همکاران، ۱۳۸۴).

اندازه دانه، شکل دانه، درجه جهت یافتگی دانه، دانسیته دانه‌ها، خواص نسبی دانه‌ها، ضریب بافتی، میزان و نوع کانی‌ها، نوع مواد ماتریکس، نوع سیمان و درجه سیمانی شدن، تخلخل، مرزهای دانه‌ای یا روابط بین دانه‌ها، ساختار پیوندها.	خصوصیات بافتی
مقاومت، سختی، سایش، دانسیته.	خصوصیات مکانیکی
درزه‌ها، شکستگی‌ها، کلیواژ، فولیاسیون، گسل‌ها، لایه بندی چین خورده، باند شدگی، شیب و امتداد.	خصوصیات ساختاری
آلتراسیون و میزان آب.	خصوصیات هوازدگی

از میان مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها که در اعمال تخریب و هوازدگی نقش اساسی به عهده دارند می‌توان به رنگ، اندازه دانه‌های تشکیل دهنده سنگ، شکل ظاهری دانه‌ها، نسبت تراکم کانی‌ها، میزان نفوذپذیری آنها و سرانجام وجود درزه‌ها و شکاف‌های متعدد که به دلایل مختلف ایجاد شده‌اند اشاره کرد (محمودی، ۱۳۸۹، ص ۵) بنابراین در ژئومورفولوژی از نظر سنگ شناسی علاوه بر ترکیب کانی شناسی بیشتر خصوصیات ساخت و بافت سنگ مورد توجه قرار می‌گیرد، و تقسیم بندی سنگ‌ها در ژئومورفولوژی مبتنی بر نسبت مقاومت سنگ‌ها در برابر عوامل فرسایش است. هر چند مقاومت سنگ‌ها در ارتباط با عوامل مختلف فرسایش متغیر است، با این وجود چون نسبت مقاومت در ایجاد چهره ناهمواری دخالت محسوسی دارد، سنگ‌ها را به دو گروه سخت و سست تقسیم می‌کنند (محمودی، ۱۳۹۰، ص ۷). و در تحقیقات ژئومورفولوژی با توجه به دو دسته اصلی سنگ‌های سخت و سست تقسیمات فرعی سنگ‌ها بر اساس معیارهای است که به طور مستقیم یا غیر مستقیم در سختی یا سستی سنگ‌ها دخالت دارند و در نوع واکنش سنگ‌ها در برابر فرسایش موثرند (محمودی ۱۳۹۰، ص ۷، مقیمی ۱۳۸۹، ص ۵۱، مقیمی و محمودی ۱۳۸۳، ص ۱۱۳)، در جدول ۲ برخی از معیارها و شاخص‌های که به طور متداول

¹ - Matrix material

² - Contact

³ - Lindqvist and Åkesson 2005

⁴ - Ersoy and Waller 1995

جهت تقسیمات فرعی سنگ‌ها آذرین درونی از نظر ژئومورفولوژی در منابع مختلف مورد توجه‌اند همراه با شاخص‌های تعریف شده برای آنها ارائه شده است.

جدول ۲- برخی از معیارها و شاخص‌های آنها که در تقسیمات فرعی سنگ‌های آذرین درونی در ژئومورفولوژی می‌توان مورد توجه قرار داد

ردیف	معیارها	شاخص مقاومتی		
		زیاد (ارزش عددی ۳)	متوسط (ارزش عددی ۲)	کم (ارزش عددی ۱)
۱	کانی‌های اصلی	۱ کانی	۲-۴ کانی	بیش از ۴ کانی
۲	رنگ	روشن	خاکستری	تیره
۳	اندازه دانه (بلور)	دانه ریز	دانه متوسط	دانه درشت و پگما تیتی
۴	نسبت ابعاد دانه‌ها	هم بُعد دانه (آپلیتی)	نیم هم بُعد دانه (گرانیتی)	نا هم بُعد دانه (پورفیروئید)
۵	شکل دانه (بلور)	شکل دار	نیمه شکل دار	بی شکل
۶	مرز بین دانه‌ها (همبری)	مضرس	منظم	نقطه‌ای
۷	عمق تشکیل	کم	متوسط	زیاد
۸	قدمت نسبی	کم	متوسط	زیاد
۹	نفوذ پذیری نسبی	کم	متوسط	زیاد

بر اساس شاخص‌های ارائه شده در جدول ۲، سنگ‌آذرین درونی که خصوصیات آن: تنوع کانی کمتر، رنگ روشن، دانه‌های ریز، هم بُعد دانه، شکل دار، مرز مضرس، با عمق تشکیل، قدمت و نفوذ پذیری کم، باشد مقاوم‌ترین سنگ از نظر خصوصیات ساخت و بافت در برابر تخریب و هوازدگی خواهد بود که جمع شاخص عددی آن ۲۷ به دست می‌آید و سنگی که عکس این خصوصیات را داشته باشد کمترین مقاومت را دارد و جمع شاخص عددی آن ۹ به دست می‌آید. با توجه به اینکه مقیاس مقاومت سنگ‌ها، در رابطه با عرض جغرافیایی و زمان قابل تغییر می‌باشد (کک^۱، ۱۳۷۰، ص ۲۳). در این مقاله معیارها بر اساس خصوصیات سنگ بکر انتخاب و تعریف شده‌اند. و از نقش ناپیوستگی‌ها و درزه‌های ایجاد شده با منشأهای مختلف و پروفیل هوازدگی در مقاومت رخنمون‌ها صرف نظر شده است. تفاوت عمده سنگ بکر با توده سنگ که یک سنگ بکر است در ناپیوستگی‌ها و پروفیل هوازدگی می‌باشد (سینک و گوئل^۲، ۱۳۸۲، ص ۱۵). در زیر ضمن شرح مختصری از نقش هر یک از معیارهای ارائه شده بر مقاومت رخنمون‌ها، به صورت موردی واحد‌های سنگی توده نفوذی الوند تعیین شاخص شده‌اند.

۱- کانی‌های اصلی سنگ^۳: ترکیب سنگ ممکن است از کانی‌های همگن یا نا همگن باشد، سنگ‌های نا همگن بیشتر در معرض تلاشی دمایی قرار می‌گیرند زیرا ضریب انبساط و انقباض در کانی‌های مختلف متفاوت است. همچنین ضریب انبساط خطی یک کانی معین نیز بر حسب جهت انتخاب شده در بلور فرق می‌کند، و هرگاه تغییر در درجه‌ی دما ادامه یابد، اختلاف میان ضرایب انبساط کانی‌های مختلف تشکیل دهنده سنگ موجب جدا شدن دانه‌های کانی از یکدیگر و تخریب سنگ می‌شوند. (قریب، ۱۳۷۲، ص ۲۹۳). البته هم جنس بودن کانی‌های یک سنگ ممکن است مثلاً در رابطه با انحلال پذیری نتیجه معکوسی داشته باشند (مقیم و محمودی، ۱۳۸۳، ص ۱۱۶) در این تحقیق منظور از کانی‌های اصلی کانی‌های است که نسبت آنها در ترکیب سنگ ۰.۵٪ و یا بیشتر باشد

1 - Cque Roger

2 - Singh & Ggoel, 1999

3 - Mineral Content of the rock

(کانی های شاخص و عادی که در نام گذاری سنگها مورد استفاده اند). مثلاً منزوگرانیت های الوند تقریباً دارای ۳۰-۳۵ درصد پلاژیوکلاز، ۳۰-۳۵ درصد ارتوکلاز میکروکلین، ۳۰-۲۵ درصد کوارتز، ۱۰-۵ درصد بیوتیت می باشند و کانی های فرعی آن عبارتند از زیرکن، آپاتیت، مسکویت، تورمالین، گارنت، و آپک (کانی های تیره) (آلیان و همکاران، ۲۰۱۱، ص ۲۱۹۲)؛ و گرانیت های سفید شامل کوارتز (۳۵٪)، ارتوز (۲۰٪)، پلاژیوکلاز (۲۵٪)، کیانیت (۱۰٪)، مسکویت (۵٪)، می باشد (جعفرقلی زاده، ۱۳۸۶، ۱۵۶)؛ در ترکیب سنگهای توده نفوذی الوند کانی های اصلی معمولاً ۴ کانی و یا بیشتر می باشند.

۲- رنگ سنگ: رنگ سنگ متأثر از ترکیب کانی شناسی سنگ است و عامل مهمی جهت گسیختگی سنگ به شمار می رود سنگهای تیره رنگ که به خوبی حرارت را در خود جذب می کنند بیش از سنگهای روشن به ترکیدن حساسیت دارند (درايو، ۱۳۷۰، ص ۲۱). زیرا تنش های ناشی از جذب تابش خورشید در آنها شدیدتر است. سنگهای گرانیتی الوند معمولاً دارای رنگ خاکستری روشن تا سفید هستند (خانلری^۲ و همکاران، ۲۰۱۰، ص ۴۰۹). و سایر سنگها رنگ خاکستری تا خاکستری تیره دارند.

۳- اندازه دانه^۳ (بلور) ها: هرچه دانهها (بلورها) ریزتر باشند به طور طبیعی نسبت تراکم آنها زیاد تر خواهد بود و بر عکس در بین دانههای درشت فضای خالی بیشتری وجود خواهد داشت بنا بر این سنگهای ریز دانه مقاومت بیشتری از سنگهای دانه درشت دارند (محمودی، ۱۳۸۹، ص ۵)؛ انودرا و کومارا^۴ (۱۹۸۰) نشان دادند که بین اندازه دانه و مقاومت سنگهای گرانیتی رابطه خطی و معکوس وجود دارد که با کاهش اندازه دانهها، مقاومت سنگ افزایش می یابد (حافظی مقدس، ۱۳۹۰، ص ۲۳۰)؛ در توده های نفوذی که در عمق به صورت فانریتیک متبلور شده باشند. میانگین اندازه دانه یا بلورهایشان بیش از ۵ میلیمتر (درشت دانه) بین ۱ - ۵ میلیمتر (متوسط) و ۱ - ۰/۵ میلیمتر (ریز دانه) می باشد (ویلسون^۵، ۲۰۱۰، ص ۷۷)؛ بخش میانی توده الوند را گرانیت های پورفیروئید با فلداسپات های پتاسیک (میکروکلین) دانه درشت و بخش حاشیه آن دانه متوسط است (درویش زاده، ۱۳۸۹، ص ۳۱۰)؛ معمولاً قطر دانه های سنگهای گرانیتی دانه درشت الوند بزرگتر از ۵ میلیمتر، و قطر کانی های گرانیت های سفید کمتر از ۵ میلیمتر است (جعفرقلی زاده، ۱۳۸۶، ص ۱۵۶). (شکل، ۵).

۴- نسبت ابعاد دانهها^۶ (بلورها): منظور نسبت بین قطر دانه های تشکیل دهنده سنگ توأم با فراوانی آنها است، که بر این اساس دانه های تشکیل دهنده سنگ را می توان به هم بعد دانه با مقاومت نسبی زیاد (آپلیتی)، نیم هم بعد دانه با مقاومت نسبی متوسط (گرانیتی) و نا هم بعد دانه با مقاومت نسبی کمتر (پورفیروئید) تقسیم کرد. که در دو حالت اخیر علاوه بر ابعاد دانهها فراوانی دانه نیز اهمیت می یابد. از این نظر حجم اصلی گرانیت های توده الوند را گرانیت های پورفیروئیدی با ترکیب گرانیت - گرانودیوریت، سینوگرانیت و مونزوگرانیت تشکیل می دهند (اشراقی، ۱۳۸۱).

1 - Color Rock

2 - Khanlari et al, 2010

3 - Grain size

4 - Anodera & Komera

5 - Wilson, J, R., 2010

6 - Grain geometry ratio

۵- شکل دانه^۱ (بلور) ها: شکل بلورها شرایط مجاورت را در مجموعه‌های بلورین تعیین می‌کنند (کک^۲، ۱۳۶۸، ص ۱۵۵) هماهنگی یا ناهماهنگی در شکل کانی ها در میزان اتصال و چسبندگی آنها به یکدیگر تأثیر فراوانی دارند (مقیمی و محمودی، ۱۳۸۳، ص ۱۱۵). و یک سنگ هر چه از کانی های متنوع‌تری تشکیل شده باشد از تنوع شکل و تخلخل بیشتری برخوردار خواهد بود (محمودی، ۱۳۸۹، ص ۵). معمولاً شکل دانه‌ها در گرانیت های درشت دانه و گرانیت های سفید الوند بی شکل (انهدرال^۳) می باشد (جعفرقلی زاده، ۱۳۸۶، ص ۱۵۶).

۶- مرز (همبری) دانه‌ها: درهم شدگی دانه‌ها به حالت‌های مختلف مضرس^۴، منظم (مستقیم و یا محدب - مقعر) و نقطه‌ای دیده می‌شود. گسیختگی نمونه سنگ‌ها بیشتر در مرز دانه‌ها رخ می‌دهد (شکستگی های بین دانه‌ای) و کمتر در میان دانه‌ها ایجاد می‌شود (شکستگی های درون دانه‌ای)، لذا مرزهای نامنظم و درهم ایجاد شکستگی را مشکل نموده و افزایش تعداد مرزها باعث افزایش مقاومت سنگ می‌شود. و مرزهای مضرس باعث درهم شدگی بهتر و در نتیجه افزایش مقاومت و دوام سنگ خواهد شد (حافظی مقدس، ۱۳۹۰، ص ۲۳۱). با توجه به اینکه کانی های تشکیل دهنده سنگ‌های توده نفوذی الوند اغلب فاقد شکل هندسی مشخصی هستند بنابراین همبری دانه‌ها (کانی‌ها) بیشتر به صورت مضرس است و کمتر مستقیم و یا نقطه‌ای می‌باشد (شکل، ۲).

۷- نفوذ پذیری^۵: به طور کلی در یک قلمرو آب و هوایی معین، سرعت تجزیه سنگ‌ها و خرد شدن آنها با شکل نفوذ و تماس آب با دیواره‌ی کانی های تشکیل دهنده سنگ‌ها در ارتباط می‌باشد به علاوه خروج یونها و مولکول‌های حل شده کانی‌ها با جابه‌جایی آب صورت می‌گیرد که به نفوذ پذیری سنگ‌ها بستگی دارد (رجائی، ۱۳۷۰، ص ۴۸). بنابراین هر چه قابلیت نفوذ سنگ بیشتر باشد دسترسی مستقیم عوامل فرسایشی به کانی های تشکیل دهنده سنگ‌ها زیاد تر است و در نتیجه امکان تخریب و متلاشی شدن سنگ سریعتر فراهم می‌شود (مقیمی، ۱۳۸۹، ص ۵۷)؛ درصد تخلخل و شاخص جذب سریع آب^۶ (QAI) برای گرانیت های دانه درشت الوند در حالت بکر به ترتیب ۱/۳۶۲ و ۰/۴۶۴ و برای گرانیت های سفید ۰/۹۵۷ و ۰/۲۳۹ می‌باشد (قلی زاده، ۱۳۸۶، ص ۱۵۶). و نفوذ پذیری گرانیت پورفیروئید دانه ریز بیوتیت و گرونادار الوند نیز توسط نگارندگان ۱/۰۳ درصد اندازه گیری شده. که با توجه به سایر خصوصیات ساخت و بافت، نفوذ پذیری نسبی واحد های سنگی توده نفوذی الوند در حالت‌های کم، متوسط و زیاد ارزش گذاری شده‌اند.

۸- قدمت سنگ^۸: قدمت زمین شناسی برونزد ها نشان دهنده مدت زمان تأثیر پذیری از عوامل دگرسان ساز در سطح یا نزدیک به سطح زمین است. طوری که برونزد توده‌های گرانیتی دوران اول یا دوم زمین شناسی، مورفولوژی متفاوتی را نسبت به گرانیت های کمتر دگرسان شده دوران سوم ایجاد کرده‌اند.

1 - Grain shape

2 - Coque Rojer

3 - Anhedral

4 - Grain boundary or grain contact relationships

5 - Sutured

6 - Permeability of the Rock

7 - Quick Absorption Index

8 - Rock Age



شکل ۲- الف: گرانیت پورفیروئید بیوتیت و گرونا دار دانه درشت، ب: گرانیت سفید (هلولوکوگرانیت) دانه ریز (نگارندگان)

همچنین با توجه به اینکه در طی دوره‌های زمین شناسی چرخه‌های فرسایشی سبب تظاهر قسمت های عمیق تر در سطح زمین می شود این برونزد ها هم از نظر ترکیب کانی شناسی و هم از نظر تنش فشاری ناشی از بار برداری حساسیت بالایی به تخریب و هوازدگی دارند در نتیجه در واحدهای سنگی یکسان قدمت زمین شناسی برونزدها عاملی مهم در تخریب و هوازدگی محسوب می شود در جدول ۳، سن نسبی سنگها در توده نفوذی الوند ارائه شده است.

جدول ۳ - مجموعه سنگهای مافیک و حد واسط و فلسیک توده نفوذی الوند و سن نسبی آنها

(برگرفته از متن مقاله سپاهی گرو و معین وزیری، ۱۳۷۹).

سنگها	نوع سنگ	سن نسبی
آلبوین، گابرو، گابرو نوریت، دولریت، دیوریت، کوارتز دیوریت، تونالیت	مافییک	زیاد
مونزوگرانیت، سینیوگرانیت، آلکالی فلداسپارگرانیت، گرانودیوریت، تونالیت (ترندومیت)، پگماتیت، آپلیت	حدواسط	متوسط
لوکو تونالیت، لوکو گرانودیوریت، لوکو کوارتز دیوریت، لوکو کوارتز مونزودیوریت	فلسیک	کم

۹ - عمق تشکیل سنگ^۱: مقدار تنش های ذاتی موجود در توده سنگی واقع در محل طبیعی آن کمیتی است که ممکن است در کمترین مقدار که صفر است تا مقادیر بزرگی در حد مقاومت سنگ متغیر باشد، از این رو ممکن است در ضمن بار برداری سطحی یا ایجاد فضا های عمقی اثر تنش های ذاتی به طور تخریبی پدیدار گردد. (وفائیان، ۱۳۸۷، ص ۲۴۰). بنابر این سنگ های که در عمق های متفاوت تشکیل شده اند به واسطه انجام فرسایش و برداشت بار^۲ (سبک بارشدن) حساسیت های متفاوتی را نسبت به تخریب و هوازدگی نشان می دهند. در توده نفوذی الوند گابروها دارای منشاء گوشته ای با عمق متوسط اند، منشاء گرانیت ها پوسته قاره ای، احتمالاً گرانیتوئید های پروتروزوئیک و ارتوزن هستند؛ و گرانیتوئید های لوکوکرات حاصل ذوب پوسته ای غنی از پلاژیوکلاز مانند تونالیت ها و رسوبات دگرگون شده اند. (شهبازی^۳، ۲۰۱۰، ص ۶۶۹).

^۱ - The depth formed rock

^۲ - Unloading

^۳ - Shahbazi, 2010

بحث و نتیجه گیری

بر اساس معیار های ارائه شده و ارزش گذاری آنها (جدول ۲) واحد های سنگی توده نفوذی الوند در جدول ۳ مورد ارزیابی قرار گرفته اند. باتوجه به اینکه طبق شاخص های کمی در نظر گرفته شده جمع ارزش های عددی برای کمترین و بیشترین مقاومت بین ۹ تا ۲۷ به دست می آید به منظور تسهیل در استفاده و انطباق نتایج حاصله با شاخص های که از سوی سایر محققین ارائه شده است، دامنه تغییرات با استفاده از رابطه ۱: به بازه ۱۰ - ۱ تبدیل و تحت عنوان درجه مقاومت نسبی رخنمون سنگ های آذرین درونی در برابر تخریب و هوازدگی در ستون آخر جدول ۴ آورده شده است.

$$R_D = 9 \text{ TS}_I - 63/181 \text{ رابطه}$$

در این رابطه R_D : معرف درجه مقاومت سنگ از نظر ساخت و بافت و TS_I : جمع شاخص مقاومت ساخت و بافت سنگ است. با توجه به یافته های تحقیق واحد های سنگی توده نفوذی الوند را از نظر مقاومت رخنمون ها در برابر تخریب و هوازدگی با توجه به تأثیر پذیری از خصوصیات ساخت و بافت می توان در سه گروه طبقه بندی کرد، که نقشه پهنه بندی واحد های سنگی بر این اساس در شکل ۳ ارائه شده است. در طبقه اول با درجه مقاومت ۴ - ۳، رخنمون واحد سنگی گرانیت پگماتیسی با مقاومت نسبی ۳/۷۵ قرار می گیرد، که به صورت رگه های پراکنده در داخل سایر واحد ها همراه با گرانودیوریت، آپلیت؛ گرانیت تورمالین و ... با برونزد در ۳۴ محدوده در وسعتی معادل ۶۱ کیلومتر مربع (۱/۶۸ درصد از سطح توده) مشاهده می شود. بزرگترین محدوده این واحد سنگی به وسعت ۱/۲ کیلومتر مربع در مسیر رودخانه کرزان رود در شمال شرقی روستای گشانی در امتداد خط همبری بین آندلوزیت هورنفلس ها و گرانیت های پورفیروئید قرار دارد. در طبقه دوم با درجه مقاومت ۵ - ۴، رخنمون واحد های سنگی گرانیت پگماتیسی - آپلیتی در ۸ محدوده به وسعت ۰/۷۴ کیلومتر مربع و گرانیت گرونا دار در یک محدوده به وسعت ۴/۳۶ کیلومتر مربع قرار می گیرند که در مجموع حدود ۱/۴ درصد از سطح توده الوند را در بر گرفته اند. و در طبقه سوم با درجه مقاومت ۶ - ۵، سایر واحد های سنگی توده نفوذی الوند شامل گرانیت های پورفیروئید به عنوان وسیع ترین رخنمون (شامل منزوگرانیت، گرانودیوریت، تونالیت و سینوگرانیت ها)، با برونزدی در حدود ۷۸/۸ درصد از سطح توده، گرانیت تورمالین دار، دیوریت گابروها، دیوریت-گابرو متاسوماتیزم، آلیوین گابروها و دیگر واحد های سنگی قرار دارند. با تعیین درجه مقاومت واحد های مختلف سنگی و لحاظ کردن وسعت هر واحد، میانگین وزنی مقاومت سطح توده ۵/۱ به دست آمده که نشان دهنده مقاومت نسبی متوسط برونزد توده نفوذی الوند از نظر خصوصیات ساخت و بافت واحد های سنگی در برابر تخریب و هوازدگی در بین سنگ های آذرین درونی است. درجه مقاومت های به دست آمده برای واحد های سنگی توده نفوذی الوند در این تحقیق بیانگر مقاومت آنها با توجه به خصوصیات ساخت و بافتی است که به عنوان معیار تعریف و مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

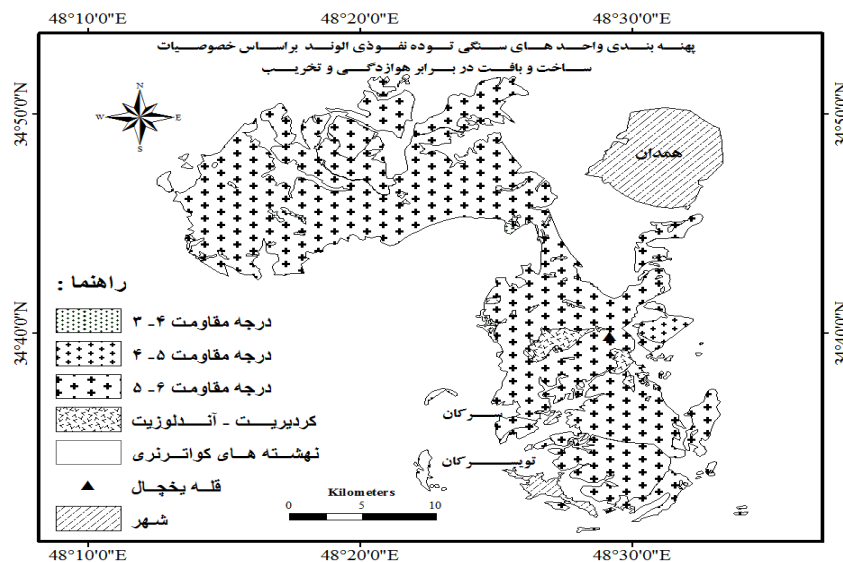
جدول ۴- ارزیابی و تعیین درجه مقاومت رخنمون واحد های سنگی توده گرانیتی ا لوند براساس خصوصیات بافت و ساخت سنگ

درجه مقاومت ۱-۱۰	شاخص مقاومت ۲۷-۹	معیار ها و شاخص های مورد ارزیابی (خصوصیات بافت و ساخت)									مساحت به درصد	واحد های سنگی	ردیف
		تفوذپذیری ۱-۳	قدیمت سنگ ۱-۳	عمق تشکیل ۱-۳	همبندی دانه ها ۱-۳	شکل بلور ۱-۳	ابعاد دانه ها ۱-۳	اندازه دانه ها ۱-۳	رنگ سنگ ۱-۳	کانی های اصلی ۱-۳			
۵	۱۷	۲	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۲	۲	۷۸/۸	گرانیت های پورفیروئید (g ^a).	۱
۵/۷۵	۱۸/۵	۲/۵	۱	۱	۳	۱	۳	۳	۲	۲	۱۴/۸	الیون گابرو، نوریتیک گابرو (gb ^a)	۲
۵/۲۵	۱۷/۵	۲/۵	۱	۱	۳	۱	۳	۳	۲	۱	۳/۲۱	دیوریت گابرو، دیوریت و ... (d.gb)	۳
۳/۷۵	۱۴/۵	۱	۲	۲	۲/۵	۲	۱	۱	۲	۱	۱/۶۸	گرانیت پگماتییتی (pg)	۴
۴/۷۵	۱۶/۵	۲	۲	۲	۲/۵	۱	۲	۲	۲	۱	۱/۲۰	گرانیت گرونادار (g ^b)	۵
۴/۵	۱۶	۲	۲	۱/۵	۲	۱/۵	۱	۲	۲	۲	۰/۲۰	پگماتییت- آپلیت (p ^a)	۶
۵	۱۷	۲	۲	۲	۲/۵	۱	۲	۲	/۵	۲	۰/۰۷	گرانیت تورمالین دار (g ^t)	۷
۵/۲۵	۱۷/۵	۳	۱	۱	۳	۱	۲	۳	/۵	۲	۰/۰۵	دیوریت متاسوماتیز م (d)	۸

مطالعه و بررسی مقاومت این واحد ها از نظر ترکیب کانی شناسی و در نهایت پتروژئومورفولوژی توده توسط نگارندگان در مرحله پایانی است که نتایج اولیه نشان می دهد بین درجه مقاومت واحد های سنگی از نظر خصوصیات ساخت و بافت و ترکیب کانی شناسی رابطه خطی معکوس با ضریب همبستگی (r = ۰/۷۵) وجود دارد. به عنوان مثال رخنمون الیون گابرو که از نظر ساخت و بافت در برابر تخریب و هوازدگی بیشترین مقاومت نسبی را در بین سایر رخنمون ها دارد از نظر ترکیب کانی شناسی با درجه مقاومت ۲ کمترین مقاومت را دارد و گرانیت پگماتییتی با درجه مقاومت ۸ از نظر ترکیب کانی شناسی از نظر ساخت و بافت دارای کمترین مقاومت است. با لحاظ کردن درجه مقاومت رخنمون ها از نظر خصوصیات ساخت و بافت و ترکیب کانی شناسی می توان مقاومت پتروژئومورفولوژی واحد های سنگی را جهت برآورد میزان تخریب و فرسایش در اجرای پروژه های آبخیز داری و عمرانی مورد استفاده قرار داد.

نتیجه گیری

در مطالعه و بررسی ژئومورفولوژی دینامیکی در مقیاس حوضه های کوچک که تغییر عوامل محیطی مانند آب و هوا، عموماً کم و ثابت است بررسی ماهیت و ویژگی های سنگ نقش بسیار مهمی را ایفا می کند زیرا ویژگی های ذاتی مواد تشکیل دهنده سنگ ها، شامل ترکیب کانی شناسی و بافت، مستقل از محیط عامل ایجاد مقاومت درونی سنگ در برابر انفصال ذرات و تخریب هستند. براین اساس در این مقاله نقش خصوصیات بافت و ساخت سنگ های آذرین درونی جهت تعیین درجه مقاومت رخنمون واحد های سنگی توده نفوذی الوند بر مبنای ارزش عددی در بازه ۱-۱۰ مورد استفاده قرار گرفته اند.



شکل ۳- پهنه بندی مقاومت توده نفوذی الوند در مقابل تخریب و هوازدگی بر اساس خصوصیات ساخت و بافت واحدهای سنگی یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که کمترین مقاومت مربوط به رخنمون واحد سنگی گرانیت پگماتیته با درجه مقاومت ۳/۷۵ است و بیشترین مقاومت مربوط به رخنمون واحد سنگی آلیوین گابرو با درجه مقاومت ۵/۷۵ می‌باشد. درجه مقاومت رخنمون واحد سنگی گرانیت‌های پورفیروئید به عنوان وسیع‌ترین واحد سنگی با برونزدی در حدود ۷۸/۸ درصد از سطح توده ۵ است. و میانگین وزنی درجه مقاومت برونزد توده با توجه به وسعت مختلف واحدهای سنگی ۵/۱ به دست آمده است. بر اساس درجه مقاومت‌های به دست آمده واحدهای سنگی توده نفوذی الوند در سه گروه با درجه مقاومت ۳-۴، ۴-۵ و ۵-۶ طبقه بندی و نقشه پهنه بندی مقاومت رخنمون‌های واحد‌های سنگی بر اساس خصوصیات ساخت و بافت سنگ ارائه شده است. تعیین درجه مقاومت ذاتی سنگ‌ها از نظر ترکیب کانی شناسی و خصوصیات ساخت و بافت مستقل از سایر شرایط محیطی می‌تواند در مطالعه و بررسی‌های ژئومورفولوژی به ویژه در حوضه‌های کوچک از نظر تعیین فرسایش تفریقی اهمیت زیادی داشته باشد.

منابع

- ۱- اشراقی، صفرعلی و محمودی قاری، ۱۳۸۱، نقشه زمین شناسی تویسرکان و گزارش آن، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره برگ ۵۶۵۹، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران
- ۲- اقلیمی، بهروز، ۱۳۷۹: نقشه زمین شناسی همدان و گزارش آن، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره برگ ۵۷۵۹، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۳- امانیان، مهدی و ناصرحافظی مقدس و همکاران، ۱۳۸۴، ارزیابی نقش ویژگی‌های پتروگرافی در دوام و مقاومت سنگ‌های آذرین (مطالعه موردی موج شکن شهید رجایی)، چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ص ۷۳-۶۰.
- ۴- جداری عیوضی، جمشید، ۱۳۸۴، ژئومورفولوژی ایران، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

- ۵- جعفرقلی زاده، هادی. مجتبی حیدری و غلام رضا خانلری، ۱۳۸۶، ارزیابی هوازدگی گرانبه‌های الوند همدان با استفاده از شاخصهای کمی، سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ص. ۱۶۰-۱۵۵.
- ۶- حافظی مقدس، ناصر، ۱۳۹۰، زمین شناسی مهندسی، چاپ اول، انتشارات آرسس، مشهد.
- ۷- درایو، ماکس، ترجمه مقصود خیام، ۱۳۷۰، ژئومورفولوژی اقلیمی و دینامیک خارجی، چاپ اول، انتشارات نیما، تبریز.
- ۸- درویش زاده، علی، ۱۳۸۹، زمین شناسی ایران، چینه شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم، چاپ چهارم، مؤسسه انتشارات امیر کبیر، تهران.
- ۹- رجائی، عبدالحمید، ۱۳۷۰، نقش نفوذپذیری سنگ‌های متصل در فرسایش دیفرانسیل و روش‌های تعیین آن، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تبریز، شماره ۱۴۰ و ۱۴۱، ص. ۶۹-۷۷، تبریز.
- ۱۰- زرعیان، سیروس، عبدالحسین فرقانی و هاشم فیاض، ۱۳۵۱، توده نفوذی الوند و هاله‌ی دگرگونی آن، (قسمت سوم)، نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد چهارم شماره ۳، ص. ۹۰-۸۲. تهران.
- ۱۱- سپاهی گرو، علی اصغر و حسین معین وزیری، ۱۳۷۹، مروری بر فازهای پلوتونیک رگه‌های موجود در مجموعه پلوتونیک الوند، نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد بیست و ششم شماره ۲، ص. ۱۸۶-۱۷۵، تهران.
- ۱۲- سینگ، ب و ر، ک، گویل، ترجمه، رسول اجل لوثیان و داود محمدی، ۱۳۸۲، رده بندی توده سنگ، چاپ اول، انتشارات فن آوران، همدان.
- ۱۳- شریعت جعفری، محسن و جعفر غیومیان، ۱۳۸۴، طبقه بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش (ایران مرکزی- حوزه کویرهای درانجیر و ساغند)، چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس. ص. ۱۱۹۰-۱۱۸۰، تهران.
- ۱۴- شریعت جعفری، محسن، جعفر غیومیان و حمیدرضا پیروان، ۱۳۸۵، حساسیت ذاتی سازندهای زمین شناسی به هوازدگی و فرسایش در حوضه‌های واقع در پهنه رسوبی - ساختاری خرده قاره ایران مرکزی، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم جلد ۶، شماره ۲، ص. ۷۲۲-۷۱۰، تهران.
- ۱۵- علائی طالقانی، محمود، ۱۳۹۰، ژئومورفولوژی ایران، چاپ ششم، نشر قومس، تهران.
- ۱۶- فیض نیا سادات، ۱۳۷۴، مقاوت سنگ‌ها در برابر فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، صص ۱۱۶-۹۵، تهران.
- ۱۷- قریب، عبدالکریم، ۱۳۷۲، شناخت سنگ‌ها با نگاهی ویژه به سنگ‌های ایران، چاپ اول، انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی، تهران.
- ۱۸- کوک، آر. یو و جی. سی. دورکمپ، ترجمه، شاپور گودرزی نژاد، ۱۳۷۸، ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، جلد دوم، انتشارات سمت، تهران.
- ۱۹- کک، رژه، ترجمه فرج الله محمودی، ۱۳۶۸، ژئومورفولوژی جلد اول ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک بیرونی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

- ۲۰- محمودی، فرج الله، ۱۳۸۹، ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- ۲۱- محمودی، فرج الله، ۱۳۹۰، ژئومورفولوژی ساختمانی، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- ۲۲- مقیمی، ابراهیم، ۱۳۸۹، ژئومورفولوژی ایران، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲۳- مقیمی، ابراهیم و فرج الله محمودی، ۱۳۸۳ روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، چاپ اول، نشر قومس، تهران.
- ۲۴- نیکودل، محمدرضا، امین جمشیدی و ناصر حافظی مقدس، ۱۳۸۹، همبستگی شاخص دوام با ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های از سنگ‌های ساختمانی با تأکید بر تأثیر تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال چهارم شماره شانزدهم. ص ۱۴-۳، تهران.
- ۲۵- وفائیان، محمود، ۱۳۸۷، خواص مهندسی سنگ‌ها تئوری‌ها و کاربردهای اجرایی، چاپ سوم، انتشارات ارکان دانش، اصفهان.

- 26 - Aliani, Farhad, Zahra Sabouri and Mohammdd Maanijou, 2011, petrography and Geochemistry of Porphyroid Granitoid Rocks in the Alvand Intrusive Complex, Hamadan (Iran), Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), 2011, pp2192-2199.
- 27 - Heidari, M., Khanlari. G.R and Momeni, A.A, 2010, Weathering Indices and its Relation to Uniaxial Compressive Strength of Hamadan Hololeucogranite Rocks in West of Iran. World Applied Sciences Journal, vol. 11(2), 2010, pp. 142,150.
- 28 - Khanlari, G, R., M Heidari and H. Jafar-Gholizadeh, 2010, Engineering Geological Assessment of Alvand Granitic Rocks. The 1st International Applied Geological Congress Department of Geology Islamic Azad University- Mashhad Branch, IRAN, 26-28 April, 2010, pp. 408-413.
- 29 - Lindqvist, J, E., and U, Åkesson, 2005, Microscope Rock Texture Characterization and Simulation of Rock Aggregate Properties, SGU project 60-1362/2004, Project Report 1, Department of Civil & Environmental Engineering, Luleå University of Technology (LTU), pp. 48.
- 30 - Olvmo, M, (2010): Review of denudation processes and quantification of weathering and erosion rates at a 0.1 to 1 Ma time scale, Technical Report, TR-09-18 University of Gothenburg, June 2010, pp. 56.
- 31 - Selby, M.J, 1985, Earth changing surface and introduction to Geomorphology, Published in the United States by Oxford university press, New York, PP. 607.
- 32 - Sepahi, A. A, 2008, Typology and petrogenesis of granitic rocks in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran: with emphasis on the Alvand plutonic complex. N. Jb. Geol. Paläont. Abh, Stuttgart, vol. 247/3, March 2008, pp. 295-312
- 33 - Shahbazi, H., W, Siebe, M, Pourmoafee, M, Ghorbani and et al, 2010, Geochemistry and U-Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj-Sirjan Zone (Iran), New evidence for Jurassic magmatism. Journal of Asian Earth Sciences, No. 39, 2010, pp. 668-683.
- 34 - Wilson, J, R, 2010, Minerals and Rocks, Ventus Publishing Aps, ISBN 987 - 7681-647-6.